

Orígenes del universo: inflación y *Big Bang*

Jaime Forero

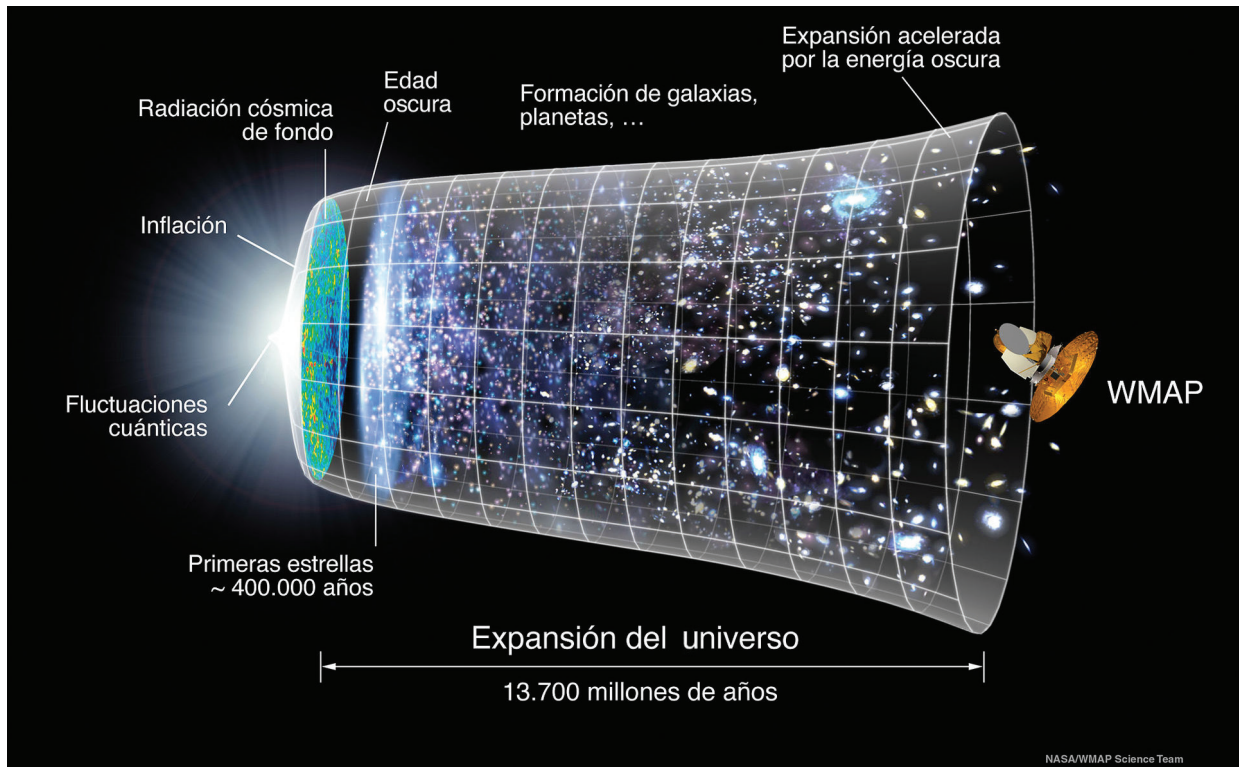
Ph. D. Profesor asistente
del Departamento de Física de
la Universidad de los Andes,
je.forero@uniandes.edu.co

Desde el Polo Sur llegan noticias sobre el origen del universo. A mediados de marzo del 2014, científicos de las universidades de Harvard, Stanford y Caltech anunciaron un importante descubrimiento logrado con el telescopio BICEP2, ubicado en la estación científica de Estados Unidos en el Polo Sur. Los periódicos del mundo no tardaron en hacer eco de la noticia publicando imágenes e historias sobre el descubrimiento. Algunos hablaban del descubrimiento científico del año, otros del Premio Nobel. Este telescopio hizo mediciones de la polarización de radiación de microondas en una región del cielo. Al analizar los datos, apareció un patrón que buscaban varios grupos de observadores de todo el mundo [1]. ¿Qué significa ese patrón?

Creemos que es información que viene de los primeros 10^{-35} segundos (o menos) del universo. ¿En qué nos basamos para decir esto? Es el resultado de un proceso de inducción científica, nada más ni nada menos. Se trata de un largo camino recorrido durante el último siglo, con el apoyo de observaciones astronómicas, experimentos de física de altas energías y avances en relatividad general y teoría cuántica de campos. Sobrevolemos este camino para hacernos una idea del significado de las mediciones de BICEP2.

Empecemos por el *big bang*, inicialmente, la extrapolación más grande que haya hecho la comunidad astrofísica. Desde la mitad de los años veinte del siglo pasado sabemos, a partir de las observaciones hechas por Vesto Slipher, en Arizona, y Edwin Hubble, en California, que el universo se expande. Esto quiere decir que a medida que pasa el tiempo, la distancia entre galaxias es cada vez mayor. Por un efecto de perspectiva, desde la Vía Láctea observamos que las galaxias se alejan de nosotros. Entre más lejanas, mayor es esta velocidad aparente. Si recorremos la película al revés, en el pasado todas las galaxias debieron estar más cerca las unas de las otras de lo que están ahora. Remontándonos mucho más hacia el pasado, debió existir un momento en el que la materia estaba en un estado mucho más comprimido y denso. A ese estado de altísima densidad debió corresponder una altísima temperatura. Cuanto más nos devolvamos en el tiempo, las densidades y temperaturas aumentan, hasta que llega un momento en el que todo se descompone en átomos, que luego se separan en partículas subatómicas y radiación.

Llegados a este punto, los matemáticos hablarían de densidades y temperaturas infinitas. Pero esto contradice lo que sugieren nuestras observaciones. La solución consiste, entonces, en pensar que debió existir un momento en el que el universo tenía una densidad y una temperatura muy altas (pero



http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Evoluci%C3%B3n_Universo_WMAP.jpg#mediaviewer/File:Evoluci%C3%B3n_Universo_WMAP.jpg

no infinitas), y se encontraba, además, en expansión. El *big bang* es aquel momento; pero no es el origen del universo: antes debió haber pasado algo más.

Tenemos dos evidencias observacionales para creer que el universo pasó por el *big bang* y era esa sopa caliente y densa en expansión que describimos. La primera es la abundancia de elementos primordiales (hidrógeno, helio y litio), que guardan correspondencia con las suposiciones de un modelo tipo *big bang* [2]. La segunda es la existencia de un océano de radiación de microondas que inunda todo el universo —resultado del *big bang*—, que fue medido en 1965 y que les valdría a sus descubridores observacionales el Premio Nobel en Física en 1974 [3]. ¿Pero qué pasó antes de ese momento de altas temperaturas, densidades y expansión?

La *inflación*: eso es lo que debió pasar *antes* del *big bang*. Ese es el nombre que se le da al mecanismo que definió las condiciones que tenían la materia y la radiación en ese momento límite. Ahora, es importante mencionar que también tenemos evidencia observacional de esas condiciones, y la tenemos por mediciones hechas hace dos décadas de las fluctuaciones de intensidad en el océano de radiación de microondas ya mencionado, resultado que mereció el Premio Nobel en Física en el 2006 [4].

Pensamos, entonces, que durante la inflación, antes del *big bang*, no había materia ni radiación, y todo debía ser pura ener-

gía asociada al espacio-tiempo. Durante la inflación, la región del espacio que contiene a toda nuestra galaxia tenía un tamaño mucho más pequeño que un átomo. En esos instantes, los efectos cuánticos debieron ser determinantes. Hay muchas opiniones sobre lo que debió haber pasado en esos momentos. La razón para esa diversidad es que no tenemos una teoría que describa el espacio-tiempo bajo efectos cuánticos. Pero para que sea consistente con las observaciones, el proceso de evolución debe ser responsable de dos sucesos: la expansión exponencial del espacio y la conversión de la energía del espacio-tiempo en materia y radiación. Cuando el proceso de expansión exponencial terminó —no sabemos exactamente cómo— ya teníamos al universo preparado para ese estado que llamamos *big bang*.

Los efectos cuánticos dejan su huella en la materia como variaciones en la densidad y en el espacio-tiempo mismo, como ondas gravitacionales. A su vez, estas ondas gravitacionales debieron dejar un rastro medible en el fondo de radiación cósmica de microondas del *big bang*. Y eso es lo que creemos que se observó con el telescopio y los detectores ubicados en el Polo Sur: el rastro de efectos cuánticos en el espacio-tiempo, fracciones de segundo después del origen del universo.

La inflación fue un mecanismo intuido y planteado entre 1979 y 1981 de manera independiente por teóricos rusos y estadounidenses [5-7] sin ningún fundamento observacional sólido. Solo ahora tenemos ese fundamento. ¿Tenemos una razón para ce-



<http://www.spacetelescope.org/static/archives/images/screen/heic0306a.jpg>
Fuente: European Space Agency and Wolfram Freudling (Space Telescope-European Coordinating Facility/European Southern Observatory, Germany)

lebrar? ¿Tenemos nueva evidencia sobre el origen de nuestro universo? Todavía no: las tendremos cuando sean confirmadas las mediciones de BICEP2. En ese caso tendríamos datos para seguir con nuevas preguntas, por ejemplo: ¿cómo se comportan esas fluctuaciones cuánticas primordiales? ¿Cómo afectan exactamente el espacio-tiempo? Para responder este tipo de preguntas, la comunidad científica debe desarrollar un marco teórico para hablar simultáneamente de campos cuánticos y gravedad en condiciones extremas. Y si a eso le añadimos los misterios sobre la materia oscura y la energía oscura que dominan el universo, podemos intuir por qué la cosmología tiene todos los ingredientes para ser una de las aventuras científicas más emocionantes de este siglo que apenas empieza. ●

REFERENCIAS

- [1] Ade PAR, Aikin RW, Barkats D, Benton SJ, Bischoff CA, Bock JJ et al. BICEP2 I. Detection of B-mode polarization at degree angular scales. arXiv:1403.3985; 2014.
- [2] Alpher RA, Bethe H, Gamow G. The origin of chemical elements. *Physical Review* 1948; 73(7): 803-804.
- [3] Penzias AA, Wilson RW. A measurement of excess antenna temperature at 4080 mc/s. *Astrophysical Journal* 1965; 142(1): 419-421.
- [4] Smoot GF, Bennett CL, Kogut A, Wright EL, Aymon J, Boggess NW et al. Structure in the COBE differential microwave radiometer first-year maps. *The Astrophysical Journal* 1992; 420(2): 439-444.
- [5] Starobinskiĭ AA. Spectrum of relict gravitational radiation and the early state of the universe. *Journal of Experimental and Theoretical Physics Letters* 1979; 30(11): 682-685.
- [6] Guth AH. Inflationary universe: a possible solution to the horizon and flatness problems. *Physical Review D* 1981; 23(2): 347-356.
- [7] Mukhanov VF, Chibisov GV. Quantum fluctuations and a non-singular universe. *Journal of Experimental and Theoretical Physics Letters* 1981; 33(10): 532-535.